

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 1 2 月 3 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年特許願第 3 4 5 2 4 6 号

出 願 人

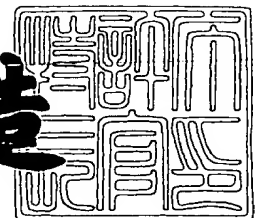
Applicant (s):

ソニー株式会社

2 0 0 0 年 8 月 2 5 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 6 7 5 8 2

【書類名】 特許願
 【整理番号】 9900787404
 【提出日】 平成11年12月 3日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 H01L 21/20
 H01L 21/203
 H01L 21/266

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
 内

【氏名】 森田 悦男

【特許出願人】

【識別番号】 000002185
 【氏名又は名称】 ソニー株式会社
 【代表者】 出井 伸之

【代理人】

【識別番号】 100098785
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 藤島 洋一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019482
 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708092

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法、窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板、窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜およびデバイスの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体の表面に窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 1 の結晶層を形成する第 1 の成長工程と、

前記第 1 の結晶層の表面に第 1 のマスクパターンを形成する第 1 のマスク形成工程と、

前記第 1 のマスクパターンを介して前記第 1 の結晶層をエッチングする第 1 のエッチング工程と、

前記第 1 の結晶層から窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 2 の結晶層を形成する第 2 の成長工程と、

前記第 2 の結晶層の表面に第 2 のマスクパターンを形成する第 2 のマスク形成工程と、

前記第 2 のマスクパターンを介して前記第 2 の結晶層をエッチングする第 2 のエッチング工程と、

前記第 2 の結晶層から窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 3 の結晶層を形成する第 3 の成長工程と

を特徴とする窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 2】 前記第 2 のエッチング工程と前記第 3 の成長工程との間に、前記第 2 のマスクパターンの少なくとも一部を除去する工程

をさらに含むようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 3】 前記第 1 のマスクパターンは、少なくとも、前記第 1 の結晶層の表面に形成される下層と、この下層の表面に形成される上層とを含むことを特徴とする請求項 2 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 4】 前記第 1 のマスクパターンの上層と前記第 2 のマスクパターンを、同一の溶液により溶解される材質でそれぞれ構成するようにし、

前記第 1 のマスクパターンの下層を、前記溶液により溶解されない材質で構成するようにしたことを特徴とする請求項 3 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 5】 前記第 1 のマスクパターンの開口部と前記第 2 のマスクパターンの開口部とが、前記結晶の厚さ方向に重なり合わないようにしたことを特徴とする窒化物系 I I I - V 族化合物の請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 6】 前記第 1 のマスクパターンの開口部と前記第 2 のマスクパターンの開口部とが、少なくとも一箇所では前記結晶の厚さ方向に重なり、少なくとも一箇所では前記結晶の厚さ方向に重ならないようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 7】 前記第 3 の成長工程の後、さらに、
前記結晶から、少なくとも前記基体を含む部分を分離する工程
を含むことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 8】 前記第 1 の結晶層、前記第 2 の結晶層および前記第 3 の結晶層のうち少なくとも一つの結晶層に、その結晶層とは異なる組成を有する内部層を形成するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 9】 前記内部層が窒化物系 I I I - V 族化合物を含むようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 10】 前記第 1 のマスクパターンと前記第 2 のマスクパターンが、いずれも、前記基体の表面とほぼ平行な面内において一方向に配列された複数の構成部分を含むようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 11】 前記第 1 のマスクパターンの構成部分および前記第 2 のマスクパターンの構成部分を、いずれもストライプ形状にしたことを特徴とする請求項 10 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 1 2】 前記第 1 のマスクパターンおよび前記第 2 のマスクパターンが、いずれも、前記基体の表面とほぼ平行な面内における 2 方向に配列した構成部分を含むようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 III - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 1 3】 前記第 1 のマスクパターンおよび前記第 2 のマスクパターンは、いずれも、窒素 (N) および酸素 (O) を含む群のうちの少なくとも一つとシリコン (Si) とを含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系 III - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 1 4】 前記基体が、サファイア (Al_2O_3)、シリコン (Si)、炭化ケイ素 (SiC)、砒化ガリウム (GaAs)、マグネシウム・アルミニウム複合酸化物 ($MgAl_2O_4$)、リチウム・ガリウム複合酸化物 ($LiGaO_2$) および窒化ガリウム (GaN) の少なくとも一つを含むようにしたことを特徴とする請求項 1 3 記載の窒化物系 III - V 族化合物の結晶製造方法。

【請求項 1 5】 結晶基板または結晶膜を形成する結晶成長工程を含むと共に、前記結晶基板または前記結晶層の表面に所定の素子膜を形成してデバイスを製造する方法であって、

前記結晶成長工程は、

基体の表面に窒化物系 III - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 1 の結晶層を形成する第 1 の成長工程と、

前記第 1 の結晶層の表面に第 1 のマスクパターンを形成する第 1 のマスク形成工程と、

前記第 1 のマスクパターンを介して前記第 1 の結晶層をエッチングする第 1 のエッチング工程と、

前記第 1 の結晶層から窒化物系 III - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 2 の結晶層を形成する第 2 の成長工程と、

前記第 2 の結晶層の表面に第 2 のマスクパターンを形成する第 2 のマスク形成工程と、

前記第 2 のマスクパターンを介して前記第 2 の結晶層をエッチングする第 2 のエッチング工程と、

前記第 2 の結晶層から窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 3 の結晶層を形成する第 3 の成長工程とを含むようにしたことを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項 1 6】 さらに、前記結晶基板または前記結晶膜から前記基体を分離する工程を含むことを特徴とする請求項 1 5 記載のデバイスの製造方法。

【請求項 1 7】 窒化物系 I I I - V 族化合物からなる複数の結晶層を含む結晶基板であって、この複数の結晶層は、

第 1 の開口部を有する第 1 の結晶層と、

前記第 1 の結晶層を覆って形成され、第 2 の開口部または溝部を有する第 2 の結晶層と、

前記第 1 の結晶層および前記第 2 の結晶層を覆って形成された第 3 の結晶層とを含むことを特徴とする窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 1 8】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部とが、少なくとも一部において、前記結晶基板の厚さ方向に重なり合わないよう構成されていること

を特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 1 9】 前記第 2 の結晶層は、前記第 1 の開口部の側面からの結晶成長により形成されていることを特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 2 0】 前記第 1 の結晶層の表面にはマスクパターンが形成されていることを特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 2 1】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部は、いずれも、ストライプ状に複数個形成されていることを特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶基板。

【請求項 2 2】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部は、いずれも、多角形状に形成されていることを特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 2 3】 前記第 1 の結晶層、第 2 の結晶層および第 3 の結晶層のうち少なくとも一つの結晶層が、その結晶層とは組成の異なる窒化物系 I I I - V 族化合物により構成された内部層を有することを特徴とする請求項 1 7 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板。

【請求項 2 4】 窒化物系 I I I - V 族化合物からなる複数の結晶層を含む結晶膜であって、この複数の結晶層は、

第 1 の開口部を有する第 1 の結晶層と、

前記第 1 の結晶層を覆って形成され、第 2 の開口部または溝部を有する第 2 の結晶層と、

前記第 1 の結晶層および前記第 2 の結晶層を覆って形成された第 3 の結晶層とを含むことを特徴とする窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 2 5】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部とが、少なくとも一部において、前記結晶基板の厚さ方向に重なり合わないよう構成されていること

を特徴とする請求項 2 4 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 2 6】 前記第 2 の結晶層は、前記第 1 の開口部の側面からの結晶成長により形成されていることを特徴とする請求項 2 4 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 2 7】 前記第 1 の結晶層の表面には、マスクパターンが形成されていることを特徴とする請求項 2 4 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 2 8】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部は、いずれも、ストライプ状に複数個形成されていることを特徴とする請求項 2 4 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 2 9】 前記第 1 の開口部と前記第 2 の開口部または溝部は、いずれも、多角形状に形成されていることを特徴とする請求項 2 4 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【請求項 3 0】 前記第 1 の結晶層、第 2 の結晶層および第 3 の結晶層のうち少なくとも一つの結晶層が、その結晶層とは組成の異なる窒化物系 I I I - V 族化合物により構成された内部層を有することを特徴とする請求項 2 4 記載の窒

化物系 I I I - V 族化合物結晶膜。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体レーザ素子などのデバイスの製造方法、およびデバイスの製造方法に用いられる窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板および窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜、もしくはこれらを製造するための窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

一般に、例えば半導体レーザ素子や発光ダイオード (LED) などのデバイスの製造工程では、例えば GaN (窒化ガリウム) などのいわゆる窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶基板あるいは結晶膜の表面に半導体膜などを積層形成している。このような製造工程で用いられる結晶基板 (あるいは結晶膜) を得るためには窒化物系 I I I - V 族化合物のバルク結晶を形成することが望ましいが、窒化物系 I I I - V 族化合物のバルク結晶は製造が困難であるため、実際には、例えば Al_2O_3 (サファイア) の基体の上に窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶をエピタキシャル成長させるという方法が用いられている。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、基体とその上に形成される結晶の結晶構造の違いや、それらの相互作用の弱さのため、両者の界面から転位が発生し易い。このような転位は結晶の成長方向に延び、結晶を貫通してその表面にまで達する。その結果、得られる結晶基板または結晶膜には表面欠陥が多いという問題があった。

【0 0 0 4】

この問題を解決するため、特開平 1 0 - 3 1 2 9 7 1 号公報では、 Al_2O_3 からなる基体の表面に GaN からなる下地層を形成し、その下地層の表面に SiO_2 (二酸化ケイ素) からなるマスクパターンを形成し、このマスクパターンを介して下地層の表面に GaN の結晶を成長させる方法が提案されている。この方

法によれば、転位の成長がマスクパターンによって阻まれ、結晶を貫通してその表面にまで達する転位（いわゆる、貫通転位）の数が減少する。しかしながら、この方法では、マスクパターンの開口部分を通して成長した転位がそのまま結晶を貫通してしまうことから、結晶基板または結晶膜の欠陥の数を十分低減することができない。

【0005】

そこで、同公報には、マスクパターンを結晶の厚さ方向に二重に形成し、一方のマスクパターンの開口部を通して成長した転位をもう一方のマスクパターンで遮るようにした方法が開示されている。しかしながら、この方法では、一方のマスクパターンの開口部と他方のマスクパターンとが結晶の厚さ方向に重なり合うように両者を正確に位置合わせする必要があり、作業が困難になるという問題がある。

【0006】

また、第46回応用物理学関係連合講演会1999年春講演予稿集の第416頁には、 Al_2O_3 製の基体上に形成されたGaNなどの下地層の表面に凹部を加工し、その下地層の表面にGaN結晶を再成長させる方法が開示されている。この方法によれば、下地層の凹部において転位の成長の方向が変化するため、結晶を貫通する転位の数はある程度減少する。しかしながら、この方法では、下地層の凹部以外の部分から転位が伝播するため、貫通転位の数を十分減少させることができないという問題がある。

【0007】

また、MRS Internet J.Nitride Semicond. Res. 4S1, G3.38 (1999) およびMRS Internet J.Nitride Semicond. Res. 4S1, G4.9 (1999)では、「P e n d e o - E p i t a x y」という横方向成長を利用した貫通転位防止方法が提案されている。前者では、種結晶となるGaN結晶に溝を形成し、その溝の側面から横方向に結晶を再成長させるようにしている。後者では、種結晶となるGaN結晶の表面にマスクパターンを形成したのち、エッチングを行って溝を形成し、その溝の側面から横方向に結晶を再成長させると共に、種結晶表面からの結晶成長をマスクパターンによって抑えるようにしている。しかしながら、前者では種結晶の

表面から転位が伸びる可能性があり、後者ではマスクパターンの上に新たな転位が発生する可能性があるため、表面欠陥の発生を十分に防止することができないという問題点がある。

【0008】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、表面欠陥の少ない窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物結晶基板および窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物結晶膜、それらを製造するための窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶製造方法、もしくはそれらを用いたデバイスの製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明による窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶製造方法は、基体の表面に窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶を成長させることにより第1の結晶層を形成する第1の成長工程と、第1の結晶層の表面に第1のマスクパターンを形成する第1のマスク形成工程と、第1のマスクパターンを介して第1の結晶層をエッチングする第1のエッチング工程と、第1の結晶層から窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶を成長させることにより第2の結晶層を形成する第2の成長工程と、第2の結晶層の表面に第2のマスクパターンを形成する第2のマスク形成工程と、第2のマスクパターンを介して第2の結晶層をエッチングする第2のエッチング工程と、第2の結晶層から窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶を成長させることにより第3の結晶層を形成する第3の成長工程とを含むものである。

【0010】

また、本発明によるデバイスの製造方法は、結晶基板または結晶膜を形成する結晶成長工程と、結晶基板または結晶膜の上に所定の素子膜を形成する素子膜形成工程とを含むものであって、結晶成長工程が、基体の表面に窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶を成長させることにより第1の結晶層を形成する第1の成長工程と、第1の結晶層の表面に第1のマスクパターンを形成する第1のマスク形成工程と、第1のマスクパターンを介して第1の結晶層をエッチングする第1のエッチング工程と、第1の結晶層から窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物の結晶を成長させることにより第2の結晶層を形成する第2の成長工程と、第2の結晶層の表面

に第 2 のマスクパターンを形成する第 2 のマスク形成工程と、第 2 のマスクパターンを介して第 2 の結晶層をエッチングする第 2 のエッチング工程と、第 2 の結晶層から窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶を成長させることにより第 3 の結晶層を形成する第 3 の成長工程とを含むようにしたものである。

【 0 0 1 1 】

また、本発明による窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板は、窒化物系 I I I - V 族化合物からなる複数の結晶層を含み、この複数の結晶層が、第 1 の開口部を有する第 1 の結晶層と、第 1 の結晶層を覆って形成され第 2 の開口部または溝部を有する第 2 の結晶層と、第 1 の結晶層および第 2 の結晶層を覆って形成された第 3 の結晶層とを含むよう構成されている。

【 0 0 1 2 】

また、本発明による窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜は、窒化物系 I I I - V 族化合物からなる複数の結晶層を含み、この複数の結晶層が、第 1 の開口部を有する第 1 の結晶層と、第 1 の結晶層を覆って形成され第 2 の開口部または溝部を有する第 2 の結晶層と、第 1 の結晶層および第 2 の結晶層を覆って形成された第 3 の結晶層とを含むよう構成されている。

【 0 0 1 3 】

本発明による窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法またはデバイスの製造方法では、第 1 のエッチング工程によりエッチングされた第 1 の結晶層から第 2 の結晶層を成長させているため、第 1 の結晶層のエッチングにより形成された開口部の例えば側面から結晶成長が進行する。従って、第 2 の結晶層への転位の伝播が抑制される。また、第 1 のマスクパターン上に新たな転位が発生したとしても、この転位は第 2 のエッチング工程により除去される。

【 0 0 1 4 】

また、本発明による窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶基板、または窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜では、第 1 の結晶層に形成された第 1 の開口部の例えば側面から第 2 の結晶層を成長させることができ、このようにすれば第 1 の結晶層内の転位の第 2 の結晶層への伝播を抑制することができる。さらに、第 1 の結晶層の表面（あるいは、第 1 の結晶層の表面に形成されたマスク）から転位が延び

た場合であっても、この転位を第 2 の開口部の形成により除去することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0016】

図 1 (A) ~ (G) および図 2 (A) ~ (B) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る窒化物系 III-V 族化合物の結晶製造方法を表す工程毎の断面図である。この結晶製造方法は、例えば半導体レーザ素子や発光ダイオード (LED) などを形成するための窒化物系 III-V 族化合物の結晶基板を製造するものである。ここでは、窒化物系 III-V 族化合物として GaN (窒化ガリウム) の結晶を形成するものとする。

【0017】

図 1 (A) に示したように、ここでは、例えば Al_2O_3 (サファイア) からなる基体 11 を用いる。なお、基体 11 の材料としては、 Al_2O_3 の他に、Si (ケイ素)、SiC (炭化ケイ素)、GaAs (砒化ガリウム)、 $MgAl_2O_4$ (マグネシウム・アルミニウム複合酸化物)、 $LiGaO_2$ (リチウム・ガリウム複合酸化物) および GaN を用いることができる。

【0018】

次に、図 1 (B) に示したように、基体 11 の表面に、例えば MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition : 有機金属化学気相蒸着) 法、MBE (Molecular Beam Epitaxy : 分子線エピタキシ) 法、その他の気相成長法などを用いて GaN を結晶成長させ、例えば厚さ $2\mu m$ の下地結晶層 12 を形成する。

【0019】

続いて、図 1 (C) に示したように、下地結晶層 12 の表面に例えばスパッタ法により Si_3N_4 (窒化ケイ素) からなる膜および SiO_2 (酸化ケイ素) からなる膜をこの順に積層形成したのち、この積層膜を例えばフォトリソグラフィー法およびドライエッチング法によりパターニングする。これにより、 Si_3N_4 からなる下層 13a と SiO_2 からなる上層 13b とを含む第 1 のマスクパタ

ーン 1 3 を形成する。第 1 のマスクパターン 1 3 は、例えば $4\ \mu\text{m}$ の間隔を開けて配列された例えば幅 $5\ \mu\text{m}$ の多数の平行なストライプ 1 3 0 を有している。この場合、ストライプ 1 3 0 の配列周期（ストライプの幅と間隔を合わせた値）は $9\ \mu\text{m}$ である。なお、第 1 のマスクパターン 1 3 のストライプ 1 3 0 の厚さは、例えば $0.2\ \mu\text{m}$ である。

【0020】

次に、図 1 (D) に示したように、第 1 のマスクパターン 1 3 をマスクとして例えばドライエッチングを行い、下地結晶層 1 2 の第 1 のマスクパターン 1 3 に覆われていない部分を選択的に除去する。エッチング深さは、下地結晶層 1 2 を基体 1 1 に達するまで除去するに十分な深さとする。このエッチングにより、下地結晶層 1 2 には、例えばストライプ形状の開口部 1 2 a が形成される。なお、ドライエッチングは、例えば R I E (Reactive Ion Etching: 反応性イオンエッチング) 法を用いて行うのが望ましい。

【0021】

次に、図 1 (E) に示したように、上記の下地結晶層 1 2 上に例えば M O C V D 法などを用いて G a N の結晶層を成長させることにより、中間結晶層 1 4 を形成する。このとき、G a N の結晶成長は、主に下地結晶層 1 2 のエッチングにより形成された開口部 1 2 a の側面から進行する。中間結晶層 1 4 は、第 1 のマスクパターン 1 3 を完全に覆う厚さ、例えば $8\ \mu\text{m}$ まで成長させる。

【0022】

続いて、図 1 (F) に示したように、中間結晶層 1 4 の表面に、例えばスパッタ法により SiO_2 からなる膜を形成し、フォトリソグラフィ法およびドライエッチング法によりパターンニングして第 2 のマスクパターン 1 5 を形成する。第 2 のマスクパターン 1 5 は、例えば $4\ \mu\text{m}$ の間隔で配列された例えば幅 $5\ \mu\text{m}$ の多数のストライプ 1 5 0 を有しており、このストライプ 1 5 0 の配列周期は $9\ \mu\text{m}$ となる。すなわち、第 2 のマスクパターン 1 5 は、第 1 のマスクパターン 1 3 と同様の配列パターンにより形成されている。

【0023】

第 2 のマスクパターン 1 5 の形成の際には、第 2 のマスクパターン 1 5 のスト

ライプ 1 5 0 が第 1 のマスクパターン 1 3 の開口部（隣接するストライプ 1 3 0 の間の部分）と厚さ方向に重なり合い、第 2 のマスクパターン 1 5 の開口部（隣接するストライプ 1 5 0 の間の部分）が第 1 のマスクパターン 1 3 のストライプ 1 3 0 と厚さ方向に重なり合うように、第 2 のマスクパターン 1 5 を第 1 のマスクパターン 1 3 に対して位置合わせする。

【 0 0 2 4 】

次に、図 1（G）に示したように、第 2 のマスクパターン 1 5 をマスクとして例えば R I E 法によるドライエッチングを行い、中間結晶層 1 4 の第 2 のマスクパターン 1 5 に覆われていない部分を選択的に除去する。エッチング深さは、中間結晶層 1 4 を第 1 のマスクパターン 1 3 に達するまで除去するに十分な深さとする。このエッチングにより、中間結晶層 1 4 には、例えばストライプ形状の開口部 1 4 a が形成される。なお、このエッチングでは、第 1 のマスクパターン 1 3 のストライプ 1 3 0 がエッチングストッパーとなるため、下地結晶層 1 2 は除去されない。

【 0 0 2 5 】

次に、図 2（A）に示したように、例えばフッ化水素水を用いて、 SiO_2 からなる第 2 のマスクパターン 1 5（図 1（G））を除去する。このとき、第 1 のマスクパターン 1 3 のうち SiO_2 からなる上層 1 3 b も除去され、 Si_3N_4 からなる下層 1 3 a は除去されずに残る。

【 0 0 2 6 】

続いて、図 2（B）に示したように、例えば MOCVD 法などを用いて、中間結晶層 1 4 上にさらに GaN の結晶層を成長させることにより、表面結晶層 1 6 を形成する。この場合、GaN の結晶成長は、エッチングにより形成された中間結晶層 1 4 の開口部 1 4 a の側面、および第 2 のマスクパターン 1 5 が除去された表面結晶層 1 6 の表面から主に進行する。表面結晶層 1 6 の厚さは例えば $8\ \mu\text{m}$ である。

【 0 0 2 7 】

このようにして、図 2（B）に示したように、下地結晶層 1 2、第 1 のマスクパターン 1 3 の下層 1 3 a、中間結晶層 1 4 および表面結晶層 1 6 を含む結晶基

板 1 0 が形成される。この結晶基板 1 0 の表面に、以下に述べるように半導体レーザ素子を構成する多層膜を成長させる。

【 0 0 2 8 】

ここで、結晶基板 1 0 は、本発明における「結晶基板」の一具体例または「結晶膜」の一具体例に対応する。また、第 1 のマスクパターン 1 3 は、本発明における「第 1 のマスクパターン」の一具体例に対応し、第 2 のマスクパターン 1 5 は、本発明における「第 2 のマスクパターン」の一具体例に対応する。加えて、ストライプ 1 3 0 およびストライプ 1 5 0 は、本発明における「構成部分」の一具体例にそれぞれ対応する。さらに、下地結晶層 1 2、中間結晶層 1 4 および表面結晶層 1 6 は、本発明における「第 1 の結晶層」、「第 2 の結晶層」および「第 3 の結晶層」の具体例にそれぞれ対応する。また、開口部 1 2 a は、本発明における「第 1 の開口部」の一具体例に対応し、開口部 1 4 a は、本発明における「第 2 の開口部」の一具体例にそれぞれ対応する。

【 0 0 2 9 】

図 3 は、結晶基板 1 0 を用いて形成した半導体レーザ素子 1 0 0 の断面図である。半導体レーザ素子 1 0 0 は、次のようにして形成する。まず、結晶基板 1 0 の表面に、例えば MOCVD 法などを用いて、Si を所定量ドーピングした GaN 膜を成長させることにより、n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 1 0 1 を形成する。次に、n 型コンタクト層 1 0 1 の上に、Si を所定量ドーピングした AlGaIn 膜を成長させることにより、n 型 AlGaIn からなるクラッド層 1 0 2 を形成する。続いて、クラッド層 1 0 2 の上に、Si を所定量ドーピングした GaN 膜を成長させることにより、n 型 GaN からなるガイド層 1 0 3 を形成する。次に、ガイド層 1 0 3 の上に GaInN 膜を形成し、多重量子井戸構造の活性層 1 0 4 を形成する。

【 0 0 3 0 】

続いて、活性層 1 0 4 の上に、例えば Mg (マグネシウム) を所定量ドーピングした AlGaIn 膜を形成することにより、p 型 AlGaIn からなるキャップ層 1 0 5 を形成する。次に、キャップ層 1 0 5 の上に、例えば Mg を所定量ドーピングした GaN 膜を成長させることにより、p 型 GaN からなるガイド層 1 0 6 を形成す

る。ガイド層 106 の上に、例えば Mg を所定量ドーピングした AlGaIn 膜を形成することにより、p 型 AlGaIn からなるクラッド層 107 を形成する。クラッド層 107 の上に、例えば Mg を所定量ドーピングした GaIn 層を形成することにより、p 型 GaIn からなる p 型コンタクト層 108 を形成する。続いて、p 型コンタクト層 108 およびクラッド層 107 を例えばドライエッチング法によりストライプ状にパターンニングし、いわゆるレーザーストライプを形成する。

【0031】

続いて、n-電極 110 を形成する位置に対応して、クラッド層 102、ガイド層 103、活性層 104、キャップ層 105、ガイド層 106 およびクラッド層 107 をフォトリソグラフィ法などにより除去する。続いて、n 側コンタクト層 101 から p 側コンタクト層 108 までの積層体の表面全体を絶縁膜 112 で覆うと共に、n 側コンタクト層 101 上に n-電極 110 を形成し、p 側コンタクト層 108 上に p-電極 111 を形成する。なお、n-電極 110 は、Ti (チタン)、Al (アルミニウム)、Pt (白金) および Au (金) を積層して加熱処理により合金化した構造を有している。また、p-電極 111 は、Ni (ニッケル)、Pt および Au を積層して加熱処理により合金化した構造を有している。

【0032】

このようにして、図 3 に示したような半導体レーザ素子 100 を得ることができ、この半導体レーザ素子 100 を一つずつ切り出して所定のパッケージに実装することにより、半導体レーザが完成する。半導体レーザ素子 100 では、発光領域であるレーザーストライプ（すなわち、パターンニングされた p 型コンタクト層 108 とクラッド層 107）は、結晶基板 10 において第 1 のパターン 13 の開口部と第 2 のパターン 15 のストライプとが重なり合う領域 R の上部に形成されている。なお、活性層 104 の上下に位置するガイド層 103、106 は、活性層 104 よりも屈折率が高く、両ガイド層 103、106 の間で光を閉じこめる構造になっている。

【0033】

なお、半導体レーザ素子 100 は、本発明における「デバイス」の一具体例に対応し、n 型コンタクト層 101 から p 型コンタクト層 108 までの各層、n-電極 110 および p-電極 111 を含む多層膜は、本発明における「素子膜」の一具体例に対応する。

【0034】

次に、本実施の形態による効果について、図 1 および図 2 を参照して説明する。基体 11 と下地結晶層 12 との界面で発生した転位（図示せず）は、下地結晶層 12 の成長に伴って基体 11 の表面にほぼ直交する方向に延びる。しかしながら、図 1（E）に示した工程では、中間結晶層 14 は下地結晶層 12 の開口部 12a の側面から横方向（基体 11 の表面にほぼ平行な方向）に成長するため、下地結晶層 12 中に存在する転位の中間結晶層 14 への伝播はきわめて起こりにくい。

【0035】

中間結晶層 14 では、第 1 のマスクパターン 13 のストライプ 130 の上に新しい転位が発生する可能性がある。しかしながら、図 1（G）に示したように中間結晶層 14 のストライプ 130 の上部に位置する部分が除去されるため、中間結晶層 14 のうち転位を殆ど含まない部分だけが残ることになる。表面結晶層 16 は中間結晶層 14 の転位の殆ど無い部分から成長することから、この表面結晶層 16 への転位の伝播はさらに抑制される。従って、結晶基板 10 の表面にまで達する貫通転位が殆ど無くなる。

【0036】

また、図 2（A）に示した工程において、中間結晶層 14 の表面からも表面結晶層 16 の成長を行うようにしたため、表面結晶層 16 の成長が円滑に行われ、より高品質の結晶が形成される。なお、第 2 のマスクパターン 15 と第 1 のマスクパターン 13 の上層 13b を除去した後も、第 1 のマスクパターン 13 の下層 13a は除去されないため、基体 11 の表面に対して垂直方向に延びる転位が第 1 のマスクパターン 13 の表面から表面結晶層 16 に伝播することが防止される。

【0037】

このように、本実施の形態によれば、下地結晶層 12 の開口部 12a の側面から結晶成長を開始させることによって、基体 11 の表面と直交する方向の転位が中間結晶層 14 に伝播することが防止される上、第 1 のマスクパターン 13 上に新しく発生する転位がエッチングにより除去されるので、表面欠陥の無い高品質な結晶基板または結晶膜を形成することが可能になる。

【0038】

なお、第 1 のマスクパターン 13 は、必ずしも、 Si_3N_4 からなる下層 13a と SiO_2 からなる上層 13b の 2 層構造とする必要は無く、第 2 のマスクパターン 15 を除去する際に第 1 のマスクパターン 13 が完全に除去されない構成であれば良い。例えば、第 1 のマスクパターン 13 を SiO_2 の単層構造にし、第 2 のマスクパターン 15 よりも厚くしても良い。

【0039】

また、第 1 のマスクパターン 13 の SiO_2 からなる上層 13b の上にさらに Si_3N_4 層を設けても良い。このようにすれば、中間結晶層 14 の形成の際に Si_3N_4 層上でも結晶成長が進行するため、（一般に、窒化物系 III-V 族化合物は Si_3N_4 上で成長させると良い結晶性が得られることが知られているため）中間結晶層 14 の結晶性を向上することができる。

【0040】

また、第 1 のマスクパターン 13 および第 2 のマスクパターン 15 は、一方向に配列されたストライプに限定されるものではなく、例えば菱形、三角形、六角形のような 2 次元形状であっても良い。加えてまた、マスクパターンの数は 2 つに限定する必要は無く、3 つ以上のマスクパターンを設けるようにしても良い。さらに、第 1 のマスクパターン 13 および第 2 のマスクパターン 15 におけるストライプの間隔および幅はそれぞれ $5\mu\text{m}$ および $4\mu\text{m}$ に限定する必要は無い。例えば、ストライプの間隔または幅を変えても良い。

【0041】

[第 1 の変形例]

次に、本実施の形態の第 1 の変形例について説明する。図 4 (A) ~ (E) お

よび図 5 (A) ~ (D) は、この変形例に係る結晶製造方法を説明するための工程毎の断面図である。この変形例では、中間結晶層 1 4 の層内に内部層 1 7 を形成し、表面結晶層 1 6 の層内に内部層 1 8 を形成するようにした点を除けば、第 1 の実施の形態と同様である。以下、第 1 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細説明は省略する。

【0042】

この変形例では、まず、第 1 の実施の形態の図 1 (A) から (D) に示した工程と同様の工程を行う。すなわち、基体 1 1 上に下地結晶層 1 2 を形成し、下地結晶層 1 2 の表面に下層 1 3 a と上層 1 3 b の 2 層を含む第 1 のマスクパターン 1 3 を形成したのち、第 1 のマスクパターン 1 3 をマスクとして下地結晶層 1 2 をエッチングする。

【0043】

次に、図 4 (A) に示したように、下地結晶層 1 2 上に例えば MOCVD 法を用いて GaN の結晶を成長させることにより中間結晶層 1 4 を途中まで形成する。続いて、中間結晶層 1 4 上に、この中間結晶層 1 4 とは組成の異なる窒化物系 III-V 族化合物、例えば AlGaInN (窒化アルミニウムガリウムインジウム) の結晶を成長させて内部層 1 7 を形成する。内部層 1 7 の形成は、例えば MOCVD 法により行う。続いて、図 4 (C) に示したように、例えば MOCVD 法によって内部層 1 7 上に GaN の結晶をさらに成長させることにより、中間結晶層 1 4 が内部層 1 7 を上下に挟み込んだ構造を形成する。中間結晶層 1 4 の厚さは例えば 8 μm であり、内部層 1 7 の厚さは例えば 0.5 μm である。

【0044】

続いて、第 1 の実施の形態と同様、図 4 (D) に示したように中間結晶層 1 4 上に第 2 のマスクパターン 1 5 を形成したのち、図 4 (E) に示したように第 2 のマスクパターン 1 5 をマスクとして中間結晶層 1 4 をエッチングする。さらに、図 5 (A) に示したように第 2 のマスクパターン 1 5 および第 1 のマスクパターン 1 3 の上層 1 3 a を除去する。

【0045】

続いて、図 5 (B) に示したように、中間結晶層 1 4 上に例えば MOCVD 法

を用いて GaN の結晶を成長させることにより、表面結晶層 1 6 を途中まで形成する。次に、図 5 (C) に示したように、表面結晶層 1 6 の表面に、この表面結晶層 1 6 とは組成の異なる窒化物系 III-V 族化合物（例えば AlGaInN）の結晶を成長させることにより内部層 1 8 を形成する。そののち、図 5 (D) に示したように、例えば MOCVD 法を用いて、内部層 1 8 上に GaN 層を形成することにより、表面結晶層 1 6 が内部層 1 8 を上下に挟み込んだ構造を形成する。なお、表面結晶層 1 6 の厚さは例えば $8 \mu\text{m}$ であり、内部層 1 7 の厚さは例えば $0.5 \mu\text{m}$ である。

【0046】

このようにして、表面結晶層 1 6 の内部に内部層 1 8 が形成される。なお、内部層 1 7 および内部層 1 8 は、本発明における「内部層」の具体例に対応する。

【0047】

この変形例によれば、基体 1 1 の表面に対して垂直方向に延びる転位が中間結晶層 1 4 内に存在したとしても、この転位の成長方向は内部層 1 7 によって横方向に曲げられるため、表面結晶層 1 6 まで達する転位の数はきわめて少なくなる。さらに、転位が表面結晶層 1 6 に達したとしても、この転位の成長方向は内部層 1 8 によって横方向に曲げられるため、表面結晶層 1 6 の表面に達する転位の数はさらに少なくなる。以上のことから、この変形例によれば、第 1 の実施の形態によりもさらに表面欠陥の殆ど無い結晶を得ることが可能になる。

【0048】

[第 2 の変形例]

次に、本発明の第 2 の変形例について説明する。図 6 は、第 4 の変形例に係る半導体レーザ素子 1 0 0 A を表す断面図である。この変形例では、n 型の導電性を持つ結晶基板 1 0 A を用いて半導体レーザ素子 1 0 0 A を形成するようになっている。n 型の導電性を持つ結晶基板 1 0 A は、図 2 (B) に示した表面結晶層 1 6 の形成工程において表面結晶層 1 6 に Si をドーピングし、そののち、基体 1 1、下地結晶層 1 2 および中間結晶層 1 4 を除去することによって得られる。基体 1 1、下地結晶層 1 2 および中間結晶層 1 4 を除去する方法としては、これらの層を例えば 900°C に加熱したのち急冷する熱衝撃法、これらの層にレーザ光を

照射する方法、超音波により振動を印加する方法などを用いることができる。なお、基体 1 1 などの残存物の除去、あるいは表面の平滑性の向上のため、結晶基板 1 0 A の表裏両面を研磨しても良い。

【0 0 4 9】

図 6 に示した半導体レーザ素子 1 0 0 A は、結晶基板 1 0 A の表面に、n 型 Al Ga N からなるクラッド層 3 0 2、n 型 Ga N からなるガイド層 3 0 3、Ga I n N からなる多重量子井戸構造の活性層 3 0 4、p 型 Al Ga N からなるキャップ層 3 0 5、p 型 Ga N からなるガイド層 3 0 6、p 型 Al Ga N からなるクラッド層 3 0 7、p 型 Ga N からなる p 型コンタクト層 3 0 8 をこの順に積層することにより構成されている。p 型コンタクト層 3 0 8 およびクラッド層 3 0 7 を例えばドライエッチング法によりストライプ状にパターンニングし、いわゆるレーザーストライプを形成し、その両側に n 型ストップ層 3 0 9 を形成する。p 型コンタクト層 3 0 8 の表面には p - 電極 3 1 1 を形成し、結晶基板 1 0 A の裏面には n - 電極 3 1 0 を形成する。このようにして、図 6 に示した半導体レーザ素子 1 0 0 A が形成される。なお、結晶基板 1 0 A から基体 1 1、下地結晶層 1 2 および中間結晶層 1 4 を除去する作業は、半導体レーザ素子を構成する各素子膜を結晶基板 1 0 A 上に形成してから行っても良い。また、結晶基板 1 0 A から基体 1 1 などを除去せずに半導体レーザ素子として利用することも可能である。

【0 0 5 0】

〔第 2 の実施の形態〕

次に、本発明の第 2 の実施の形態に係る窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法について説明する。図 7 (A) ~ (G) および図 8 (A) ~ (B) は、本実施の形態に係る窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法を説明するための工程毎の断面図である。本実施の形態は、第 1 のマスクパターンと第 2 のマスクパターンの配列周期を異ならせるようにしたものである。

【0 0 5 1】

図 7 (A) ないし (E) に示した工程は、図 1 (A) から (E) に示した工程と同様である。すなわち、図 7 (A) に示したように、Al₂O₃ からなる基体 2 1 を用い、図 7 (B) に示したように基体 2 1 上に下地結晶層 2 2 を形成する

。図 7 (C) に示したように、下地結晶層 2 2 の表面に下層 2 3 a と上層 2 3 b の 2 層を含む第 1 のマスクパターン 2 3 を形成する。第 1 のマスクパターン 2 3 は、例えば $4 \mu\text{m}$ の間隔を開けて配置された例えば幅 $5 \mu\text{m}$ の多数の平行なストライプ 2 3 0 を有しており、このストライプ 2 3 0 の配列周期は $9 \mu\text{m}$ となる。続いて、図 7 (D) に示したように第 1 のマスクパターン 2 3 をマスクとして例えば R I E 法によるドライエッチングを行い、下地結晶層 2 2 の第 1 のマスクパターン 2 3 に覆われていない部分を選択的に除去する。エッチング深さは、下地結晶層 2 2 を基体 2 1 に達するまで除去するに十分な深さとする。続いて、図 7 (E) に示したように、下地結晶層 2 2 の上に例えば M O C V D 法などを用いて G a N の結晶層を成長させることにより中間結晶層 2 4 を形成する。このとき、G a N の結晶成長は、下地結晶層 2 2 に形成された開口部 2 2 a の側面から主に進行する。

【 0 0 5 2 】

続いて、図 7 (F) に示したように、中間結晶層 2 4 の表面に、例えばスパッタ法により SiO_2 からなる膜を形成し、フォトリソグラフィ法およびドライエッチング法によりパターンニングして第 2 のマスクパターン 2 5 を形成する。第 2 のマスクパターン 2 5 は、 $4 \mu\text{m}$ の間隔で配列された幅 $4 \mu\text{m}$ の多数のストライプ 2 5 0 を有しており、このストライプ 2 5 0 の配列周期は $8 \mu\text{m}$ となる。すなわち、第 2 のマスクパターン 2 5 の配列周期は、第 1 のマスクパターン 2 3 とは異なっている。

【 0 0 5 3 】

次に、図 7 (G) に示したように、第 2 のマスクパターン 2 5 をマスクとして例えば R I E 法によるドライエッチングを行い、中間結晶層 2 4 の第 2 のマスクパターン 2 5 に覆われていない部分を選択的に除去して、開口部（または溝部）2 4 a を形成する。エッチング深さは、少なくとも、中間結晶層 2 4 を第 1 のマスクパターン 2 3 に達するまで除去するに十分な深さとする。このとき、第 1 のマスクパターン 2 3 がエッチングストッパーとなるため、下地結晶層 2 2 は除去されない。

【 0 0 5 4 】

次に、図 8 (A) に示したように、例えばフッ化水素水を用いて、 SiO_2 からなる第 2 のマスクパターン 2 5 (図 7 (G)) を完全に除去する。このとき、第 1 のマスクパターン 2 3 のうち SiO_2 からなる上層 2 3 b が除去され、 Si_3N_4 からなる下層 2 3 a は除去されずに残る。続いて、図 8 (B) に示したように、例えば MOCVD 法などにより中間結晶層 2 4 上に GaN の結晶を成長させ、表面結晶層 2 6 とする。なお、GaN の結晶成長は中間結晶層 2 4 の表面と、中間結晶層 2 4 に形成された開口部 (または溝部) 2 4 a の側面から主に進行する。

【 0 0 5 5 】

このようにして、図 8 (B) に示したような結晶基板 2 0 が形成される。この結晶基板 2 0 の表面に半導体レーザ素子を構成する多層膜を成長させる。半導体レーザ素子を構成する多層膜の形成工程は、図 3 に示した第 1 の実施の形態と同様であるため、その説明は省略する。なお、この結晶基板 2 0 は、結晶膜であっても良い。

【 0 0 5 6 】

ここで、結晶基板 2 0 は、本発明における「結晶」の具体例に対応する。また、第 1 のマスクパターン 2 3 は、本発明における「第 1 のマスクパターン」の一具体例に対応し、第 2 のマスクパターン 2 5 は、本発明における「第 2 のマスクパターン」の一具体例に対応する。加えて、ストライプ 2 3 0 およびストライプ 2 5 0 は、本発明における「構成部分」の一具体例にそれぞれ対応する。さらに、下地結晶層 2 2、中間結晶層 2 4 および表面結晶層 2 6 は、本発明における「第 1 の結晶層」、「第 2 の結晶層」および「第 3 の結晶層」の具体例にそれぞれ対応する。開口部 2 2 a は、本発明における「第 1 の開口部」に対応する。また、開口部 (または溝部) 2 4 a のうち、中間結晶層 2 4 を貫通しているものは、本発明における「第 2 の開口部」の一具体例に対応し、中間結晶層 2 4 を貫通していないものは、本発明における「溝部」の一具体例に対応する。

【 0 0 5 7 】

次に、本実施の形態の効果について説明する。図 7 (E) に示したように、中

間結晶層 2 4 が下地結晶層 2 2 の開口部 2 2 a の側面から成長するため、下地結晶層 2 2 中の転位が中間結晶層 2 4 に転位しにくい。さらに、図 7 (G) に示したように、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 の配列周期と第 2 のマスクパターン 2 5 のストライプ 2 5 0 の配列周期が互いに異なっているため、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 と第 2 のマスクパターン 2 5 の開口部とが重なり合う領域 R が例えば $72\ \mu\text{m}$ 毎に生じる。この領域 R においては、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 の上部に位置する中間結晶層 2 4 は確実にエッチング除去され、転位を含まない部分のみが残る。この中間結晶層 2 4 上に表面結晶基板 2 6 を形成することにより、表面結晶基板 2 6 への転位の伝播が防止される。

【0058】

また、上述したストライプの配列周期の違いのため、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 と第 2 のマスクパターン 2 5 のストライプ 2 5 0 とが互いに平行になるようにしさえすれば、第 1 のマスクパターン 2 3 と第 2 のマスクパターン 2 5 とが重なり合わない領域 R を生じさせることができる。従って、第 1 のマスクパターン 2 3 と第 2 のマスクパターン 2 5 を平行移動方向において正確に位置決めする必要がなくなり、それだけ製造が簡単になる。つまり、製造工程を複雑にすることなく、表面欠陥の無い高品質な結晶基板または結晶膜を形成することが可能になる。

【0059】

なお、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 の配列周期 p_1 と第 2 のマスクパターン 2 5 ストライプ 2 5 0 の配列周期 p_2 は、必要に応じて適宜設定することができる。例えば、図 3 に示した半導体レーザ素子 1 0 0 を製造する場合、結晶基板上に形成するレーザストライプ（クラッド層 1 0 7 およびコンタクト層 1 0 8）同士の間隔は $1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \text{mm}$ 以下であるが、この $1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \text{mm}$ 以下の範囲に貫通転位のない領域 R を 1 箇所ないし 1 0 箇所設けるには、第 1 のマスクパターン 2 3 のストライプ 2 3 0 の配列周期 p_1 と第 2 のマスクパターン 2 5 のストライプ 2 5 0 の配列周期 p_2 が以下の (1) 式を満たすようにする。

【0060】

$$0.1 \mu\text{m} < p_1 \times p_2 / |p_2 - p_1| < 5000 \mu\text{m} \cdots (1)$$

【0061】

[第1の変形例]

次に、本実施形態の第1の変形例について説明する。この変形例では、第2のマスクパターンの形状が異なる以外は、第2の実施の形態と同様である。以下、第2の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細説明は省略する。

【0062】

図9は、第1の変形例に係る結晶製造方法における図7（F）に対応する工程を表す図である。第1の変形例では、第1のマスクパターン23は第1の実施の形態と全く同様に形成されているが、第2のマスクパターン25Aは、配列周期の異なる2種類のストライプを有するよう構成されている。例えば、第2のマスクパターン25Aは、間隔5 μm で配列された幅4 μm のストライプ252と、間隔5 μm で配列された幅7 μm のストライプ254とを有している。この場合、ストライプ252の配列周期 p_3 は9 μm となり、ストライプ254の配列周期 p_4 は12 μm となる。これら2種類のストライプは規則的に組みあわせても良いしランダムに組みあわせても良い。

【0063】

このように、第2のマスクパターン25Aが複数の配列周期の異なる2種類のストライプを有するようにしたため、第1のマスクパターン23と第2のマスクパターン25Aを互いのストライプが平行になるようにしさえすれば、特別な位置決め作業を行わなくても、第1のマスクパターン23と第2のマスクパターン25Aとが重なり合わない領域Rを生じさせることができる。この領域Rでは、第2の実施の形態と同様、貫通転位の発生を防止することができる。従って、製造工程を複雑にすることなく、貫通転位の無い高品質の結晶基板または結晶膜を得ることができる。

【0064】

なお、この変形例では、第2のマスクパターン25Aが複数の配列周期の異な

る 2 種類のストライプを有するようにしたが、配列周期の異なる 3 種類以上のストライプを有するようにしても良い。さらに、第 1 のマスクパターン 2 3 が配列周期の異なる複数種類のストライプを有するようにしても良い。

【0 0 6 5】

[第 2 の変形例]

次に、この実施形態の第 2 の変形例について説明する。この変形例では、第 2 のマスクパターンの形状が異なる以外は、第 2 の実施の形態と同様である。以下、第 2 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細説明は省略する。

【0 0 6 6】

図 1 0 は、第 2 の変形例に係る結晶製造方法における図 7 (F) に対応する工程を表す図である。第 1 のマスクパターン 2 3 は、第 2 の実施の形態と全く同様に構成されている。一方、第 2 のマスクパターン 2 5 B は、隣接するストライプの間隔を 2 種類有している。すなわち、第 2 のマスクパターン 2 5 B は、例えば $4\ \mu\text{m}$ 間隔で配列された幅 $5\ \mu\text{m}$ のストライプ 2 5 6 を有しているが、図中 S で示したように、ストライプ 2 5 6 の間隔が異なる (例えば $7\ \mu\text{m}$ となっている) 部分が設けられている。このようにストライプ 2 5 6 の間隔が異なる部分は規則的に設けても良いしランダムに設けても良い。

【0 0 6 7】

このように、第 2 のマスクパターン 2 5 B において、ストライプ 2 5 6 の間隔が他と異なる部分を設けたので、第 1 のマスクパターン 2 3 と第 2 のマスクパターン 2 5 B を互いのストライプが平行になるようにしさえすれば、特別な位置決め作業を行わなくても、第 1 のマスクパターン 2 3 と第 2 のマスクパターン 2 5 B とが重なり合わない領域 R を生じさせることができる。すなわち、製造工程を複雑にすることなく、貫通転位の無い高品質の結晶基板または結晶膜を得ることができる。

【0 0 6 8】

なお、第 2 のマスクパターン 2 5 B には、ストライプ 2 5 6 の間隔が他と異なる部分を設ける代わりに、ストライプ 2 5 6 の幅が他と異なる部分を設けても良

い。また、第 1 のマスクパターン 2 3 に、ストライプ 2 3 0 の間隔または幅が他と異なる部分を設けても良い。

【0 0 6 9】

[第 3 の変形例]

次に、本実施形態の第 3 の変形例について説明する。図 1 1 は、第 3 の変形例に係る結晶製造方法における図 7 (C) に対応する工程を模式的に表した斜視図である。この変形例は、第 1 のマスクパターン 2 3 C と第 2 のマスクパターン 2 5 C の形状が異なる以外は第 2 の実施の形態と同様である。以下、第 2 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細説明は省略する。

【0 0 7 0】

図 1 1 に示したように、第 1 のマスクパターン 2 3 C は、菱形のマスク部 2 3 7 と、そのマスク部 2 3 7 周囲の開口部 2 3 8 からなっている。マスク部 2 3 7 は、小さい方の内角 θ_1 が 60° で大きい方の内角 θ_2 が 120° の菱形形状を有しており、その 2 組の辺に平行な 2 方向（以下、a 方向および b 方向とする。）においてそれぞれ等間隔に配列されている。第 2 のマスクパターン 2 5 C は、菱形の開口部 2 5 7 と、その開口部 2 5 7 の周囲の枠形状のマスク部 2 5 8 とからなっている。開口部 2 5 7 は、小さい方の内角 θ_1 が 60° で大きい方の内角 θ_2 が 120° の菱形形状を有しており、その 2 組の辺が上記 a 方向および b 方向にそれぞれ一致するように形成されている。また、開口部 2 5 7 は上記 a 方向および b 方向にそれぞれ等間隔に配列されている。

【0 0 7 1】

第 1 のマスクパターン 2 3 C のマスク部 2 3 7 は、a 方向および b 方向において共通の配列周期 p_1 を有している。また、第 2 のマスクパターン 2 5 C の開口部 2 5 7 は、a 方向および b 方向において共通の配列周期 p_2 を有している。配列周期 p_1 と配列周期 p_2 は異なっているため、第 1 のマスクパターン 2 3 C のマスク部 2 3 7 と第 2 のマスクパターン 2 5 C の開口部 2 5 7 とが重なり合う領域が、a 方向と b 方向のいずれにおいても同じ間隔で生じる。例えば、配列周期 p_1 を $8\mu\text{m}$ とし、配列周期 p_2 を $9\mu\text{m}$ とすると、第 1 のマスクパターン 2 3 C のマスク部 2 3 7 と第 2 のマスクパターン 2 5 C の開口部 2 5 7 とが重なり合

う領域は、a 方向と b 方向のいずれにおいても $72\ \mu\text{m}$ 毎に生じる。図 1 1 に示した第 1 のマスクパターン 2 3 C および第 2 のマスクパターン 2 5 C を用いて第 1 の実施の形態と同様の工程を経ることにより、下地結晶層 2 2 には第 1 のマスクパターン 2 3 C の開口部 2 3 8 に対応した形状の開口部（図示せず）が形成され、中間結晶層 2 4 には第 2 のマスクパターン 2 5 C の開口部 2 5 7 に対応した形状の開口部（または溝部）が形成される。

【0 0 7 2】

図 1 2 は、図 1 1 に示した工程を説明するための a 方向における断面図（A-A 断面図）であり、これは b 方向に沿った断面図（B-B 断面図）と同じである。図 1 2 に示したように、一方のマスクパターンのマスク部と他方のマスクパターンの開口部とが重なり合う領域 R は、転位が結晶基板 2 0 C の表面まで達しない領域、すなわち貫通転位のない領域となる。

【0 0 7 3】

このように、この変形例によると、第 1 のマスクパターン 2 3 C と第 2 のマスクパターン 2 5 C を、回転方向に位置合わせして（すなわち、マスク部 2 3 7 および開口部 2 5 7 の配列方向が互いに平行になるようにして）重ね合わせるだけで、マスク部 2 3 7 と開口部 2 5 7 が重なり合う領域が a 方向および b 方向において例えば $72\ \mu\text{m}$ 間隔で現れるようになる。従って、第 1 のマスクパターン 2 3 C と第 2 のマスクパターン 2 5 C の位置合わせが簡単になる。

【0 0 7 4】

なお、マスク部 2 3 7 および開口部 2 5 7 の形状は、菱形以外では、三角形（特に正三角形）、六角形（特に正六角形）、あるいは平行四辺形（特に、 60° または 90° の内角を持つ平行四辺形）であることが望ましい。さらに、一方のマスクパターンのマスク部と他方のマスクパターンの開口部とが重なり合う領域が、2 つの方向において同じ間隔で現れることが望ましい。

【0 0 7 5】

なお、第 1 の実施の形態の各変形例は、第 2 の実施の形態およびその変形例にも適用することができる。例えば、第 2 の実施の形態およびその変形例における中間結晶層 2 4 および表面結晶層 2 6 に、 AlGaInN などからなる内部層を

形成することも可能である。

【0076】

以上、いくつかの実施の形態および変形例を挙げて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態および変形例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記の各実施の形態では、半導体レーザ素子をいわゆる S C H (Separate Confinement Heterostructure) 型として説明したが、本発明は、例えば利得導波型や屈折率導波型など種々のレーザ素子に適用することができる。また、本発明は、半導体レーザ素子の他に、発光ダイオード、電界効果型トランジスタなどの半導体デバイスなどにも適用することが可能である。

【0077】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 ないし請求項 1 4 のいずれかに記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法、または請求項 1 5 または請求項 1 6 記載のバイスの製造方法によれば、第 1 のエッチング工程によりエッチングされた第 1 の結晶層から第 2 の結晶層を成長させているため、第 1 の結晶層の表面以外の部分（例えば開口部の側面）から結晶成長が開始され、従って第 2 の結晶層への転位の伝播が起こりにくくなる。さらに、第 1 のマスクパターン上に転位が発生してたととしても、第 2 のエッチング工程によりこの転位を除去することができる。従って、第 3 の結晶層への転位の伝播を効果的に抑制することができ、表面欠陥の無い高品質な結晶基板または結晶膜を得ることが可能になるという効果を奏する。

【0078】

さらに、請求項 8 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物の結晶製造方法、請求項 2 3 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶基板、または請求項 3 0 記載の窒化物系 I I I - V 族化合物結晶膜によれば、第 1 の結晶層、第 2 の結晶層および第 3 の結晶層のうちの少なくとも一つに、その結晶層とは異なる組成を有する内部層を設けるようにしたので、転位が成長する方向をこの内部層によって変化させることができ、従って、さらに表面欠陥の無い高品質の結晶を得ることができるといふ効果を奏する。

【0079】

さらに、請求項 17 ないし請求項 23 のいずれか 1 記載の窒化物系 III-V 族化合物結晶基板、または請求項 24 ないし請求項 30 のいずれか 1 記載の窒化物系 III-V 族化合物結晶膜によれば、第 1 の結晶層が第 1 の開口部を有し第 2 の結晶層が第 2 の開口部または溝部を有するようにしたので、第 1 の開口部の例えば側面から第 2 の結晶層を成長させることが可能になり、これにより第 2 の結晶層への転位の伝播が起こりにくくなる。さらに、第 1 の結晶層の表面（あるいは、第 1 の結晶層の表面に形成されたマスクの表面）から転位が成長した場合であっても、この転位が第 2 の開口部の形成工程において除去されるため、第 3 の結晶層への転位の伝播が防止される。従って、さらに表面欠陥の無い高品質の結晶を得ることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態に係る窒化物系 III-V 族化合物の結晶製造方法を表す工程毎の断面図である。

【図 2】 図 1 に続く工程を表す図である。

【図 3】 結晶基板の断面図である。

【図 4】 第 1 の実施の形態の第 1 の変形例に係る結晶製造方法を説明するための工程毎の断面図である。

【図 5】 図 4 に続く工程を表す図である。

【図 6】 第 1 の実施の形態の第 2 の変形例に係る半導体レーザ素子の断面図である。

【図 7】 第 2 の実施の形態の変形例に係る結晶製造方法を説明するための工程毎の断面図である。

【図 8】 図 7 に示した工程に続く工程を表す断面図である。

【図 9】 第 2 の実施の形態の第 1 の変形例に係る結晶基板を表す断面図である。

【図 10】 第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る結晶基板を表す断面図である。

【図 1 1】 第 2 の実施の形態の第 3 の変形例に係る結晶基板を表す斜視図である。

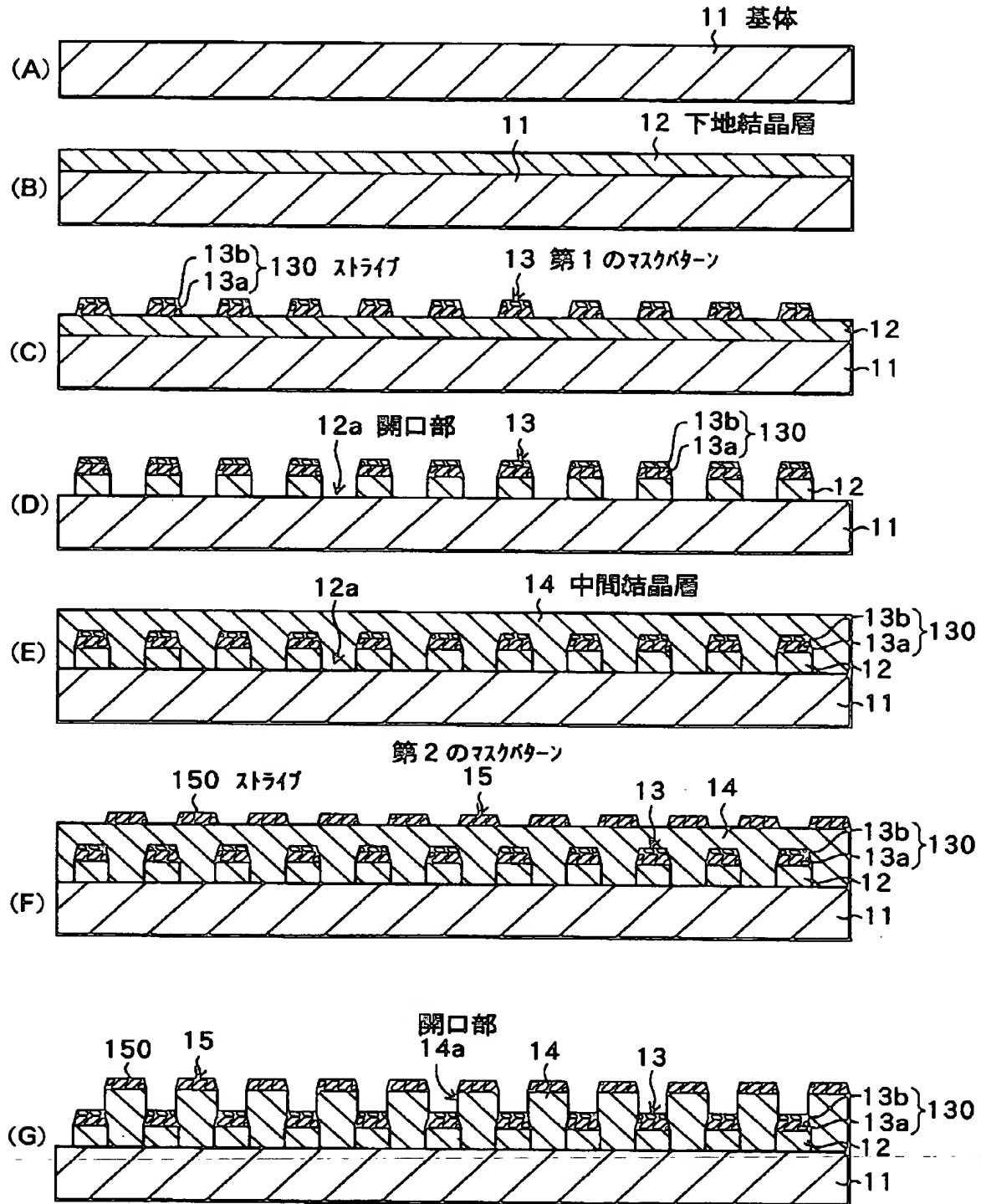
【図 1 2】 図 1 1 に示した結晶基板の断面図である。

【符号の説明】

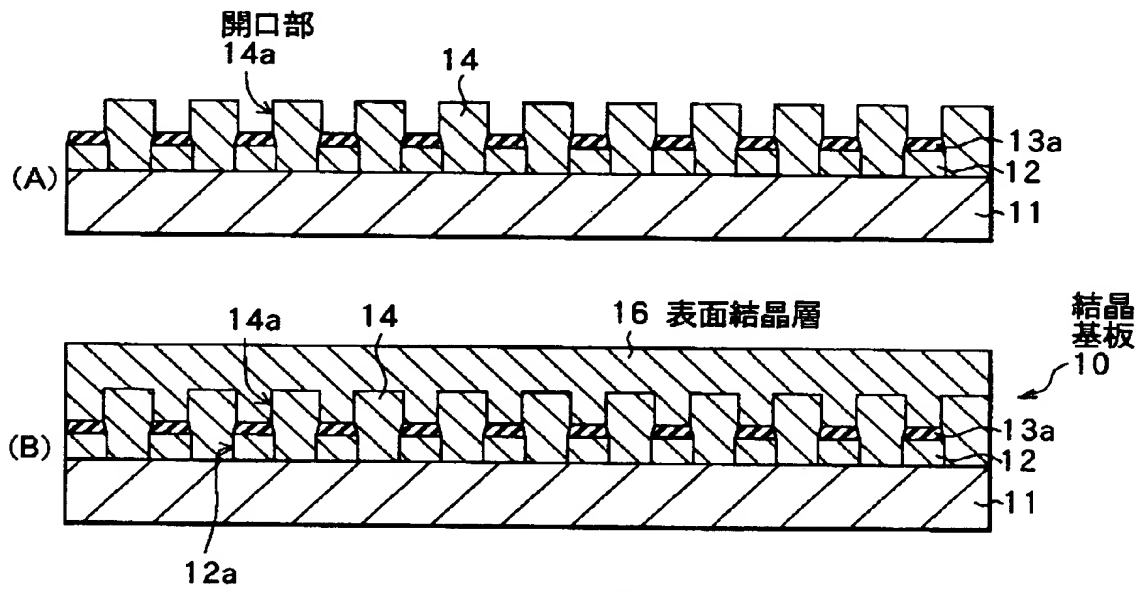
1 0 …結晶基板、1 1 …基体、1 2 …下地結晶層、1 3 …第 1 のマスクパターン、1 3 0 …ストライプ、1 4 …中間結晶層、1 5 …第 2 のマスクパターン、1 5 0 …ストライプ、1 6 …表面結晶層、1 7 …内部層、1 8 …内部層、2 0 …結晶基板、2 1 …結晶基板、2 2 …下地結晶層、2 3 …第 1 のマスクパターン、2 3 0 …ストライプ、2 4 …中間結晶層、2 5 …第 2 のマスクパターン、2 5 0 …ストライプ、2 6 …表面結晶層、1 0 0 …半導体レーザ素子。

【書類名】 図面

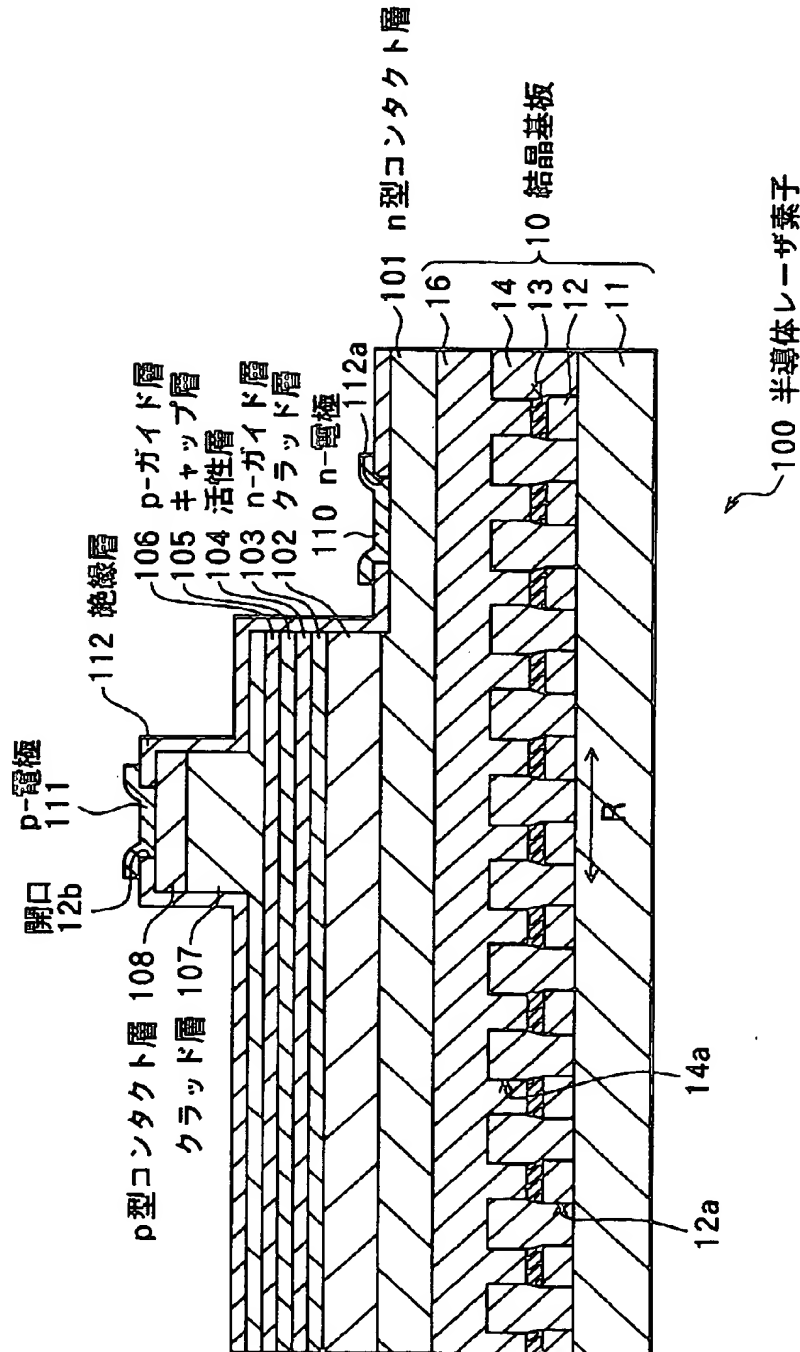
【図 1】



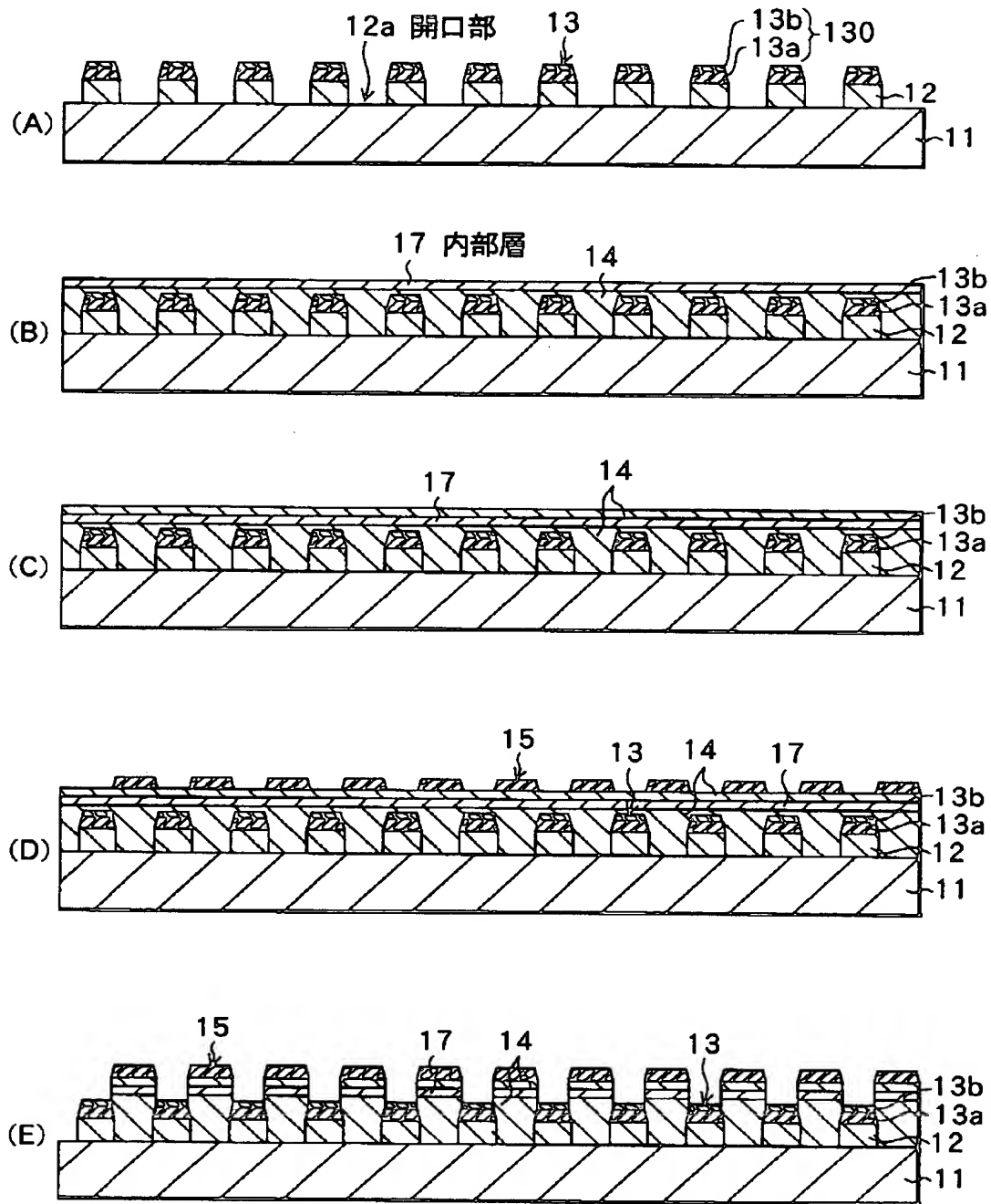
【図 2】



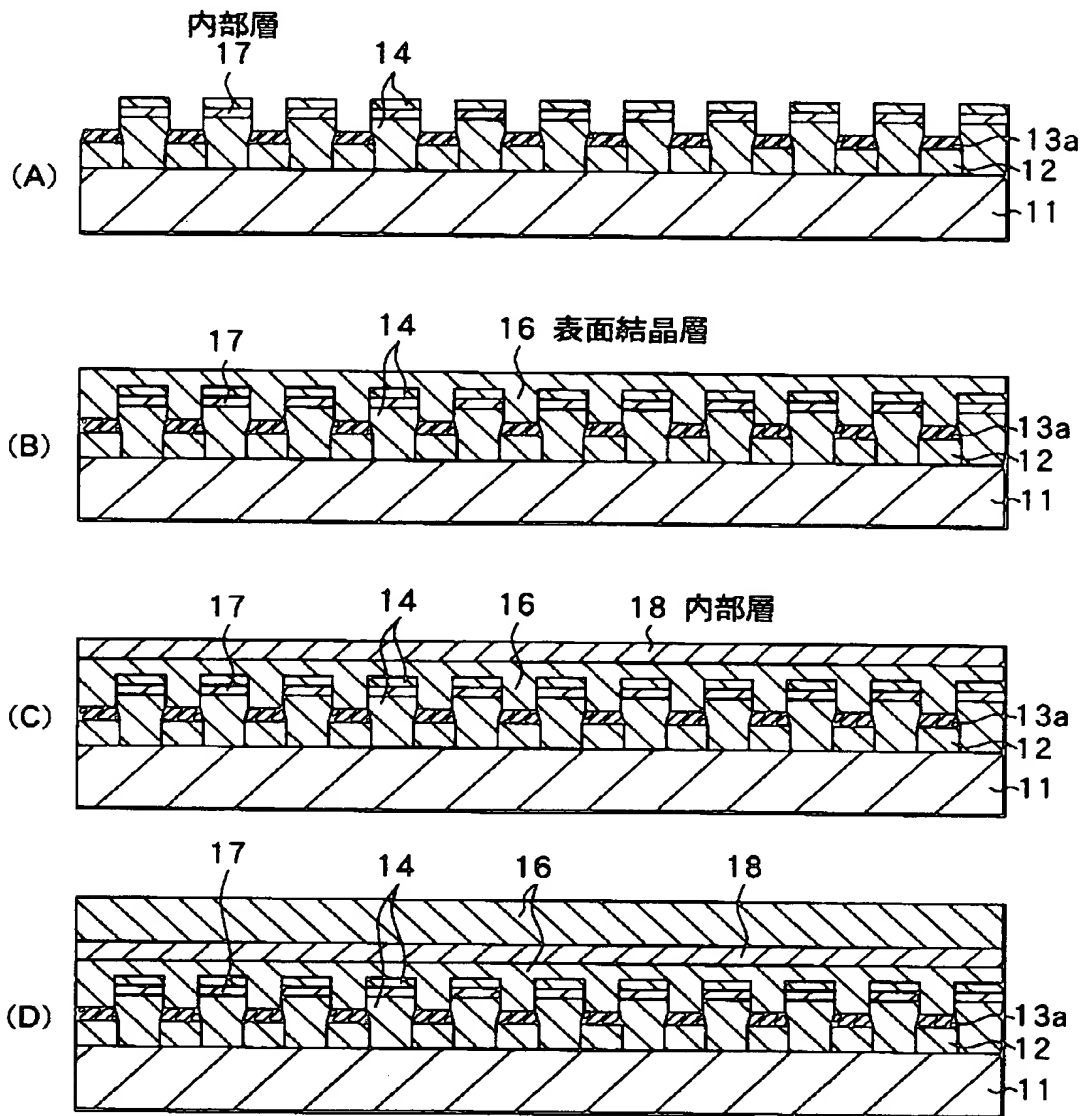
【図 3】



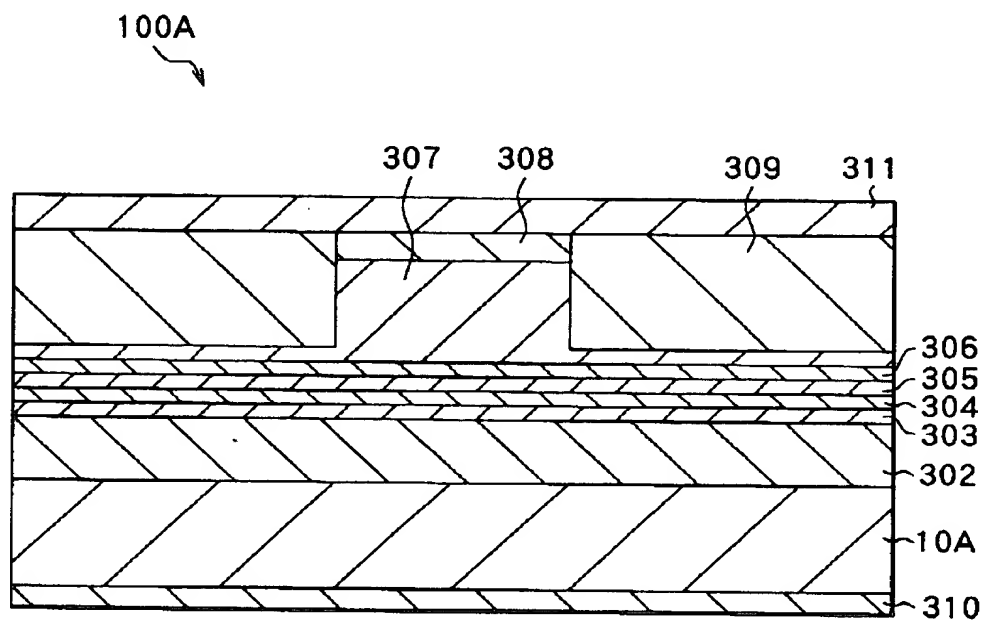
【図 4】



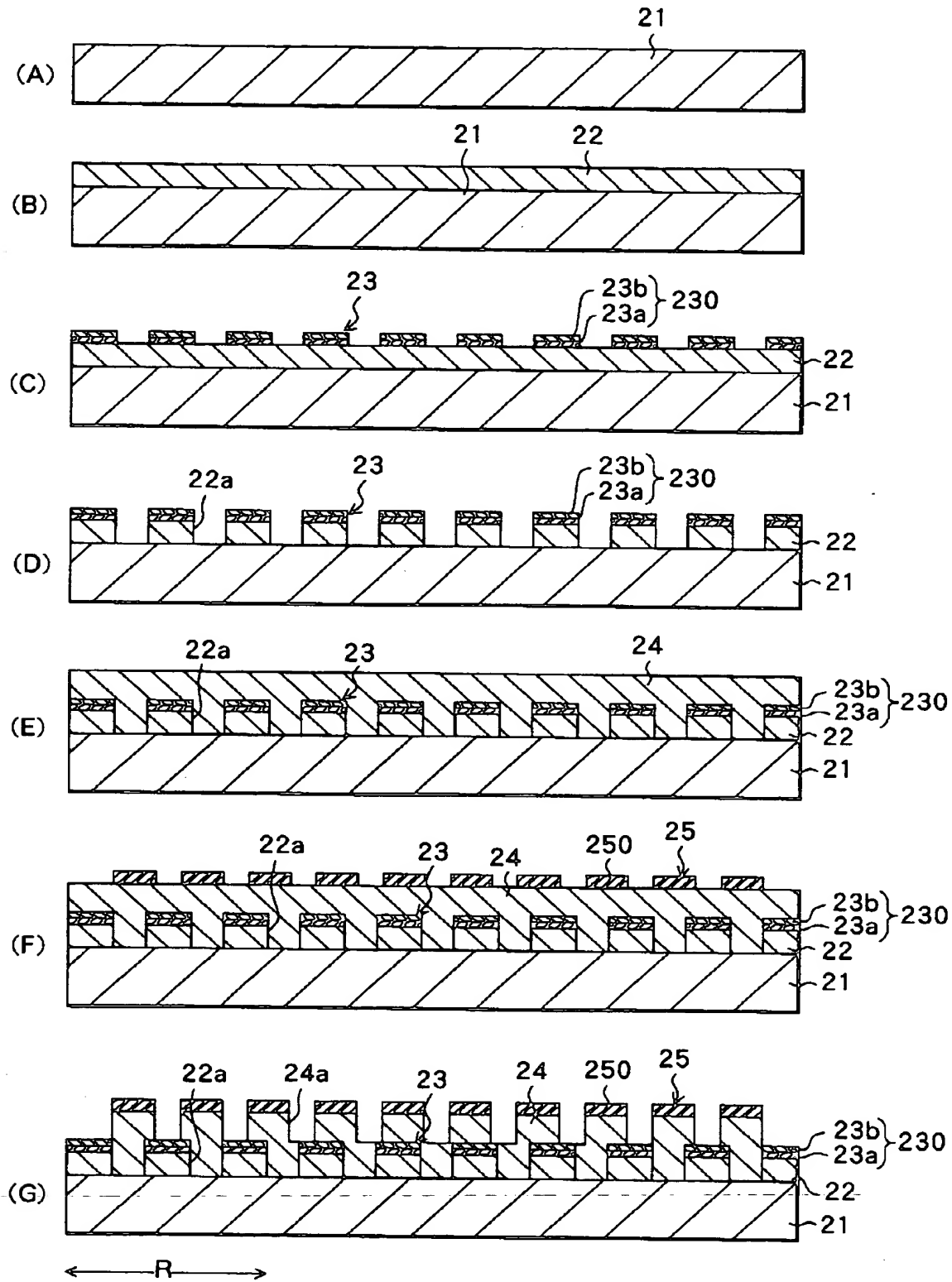
【図 5】



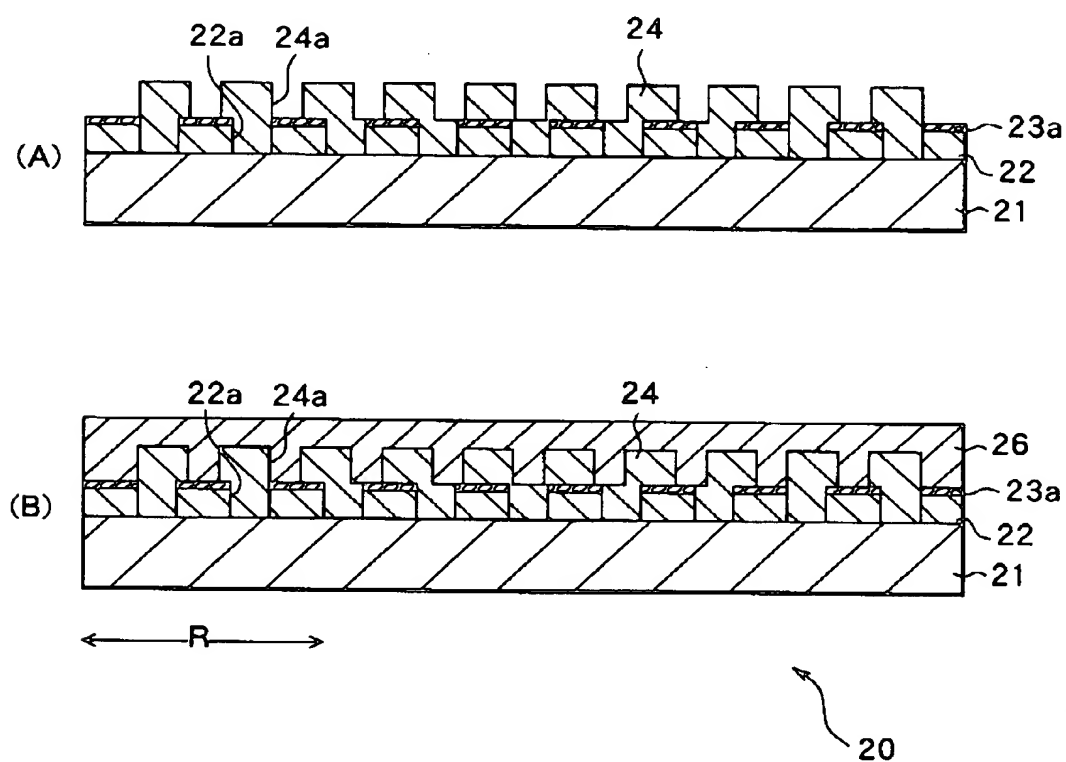
【図 6】



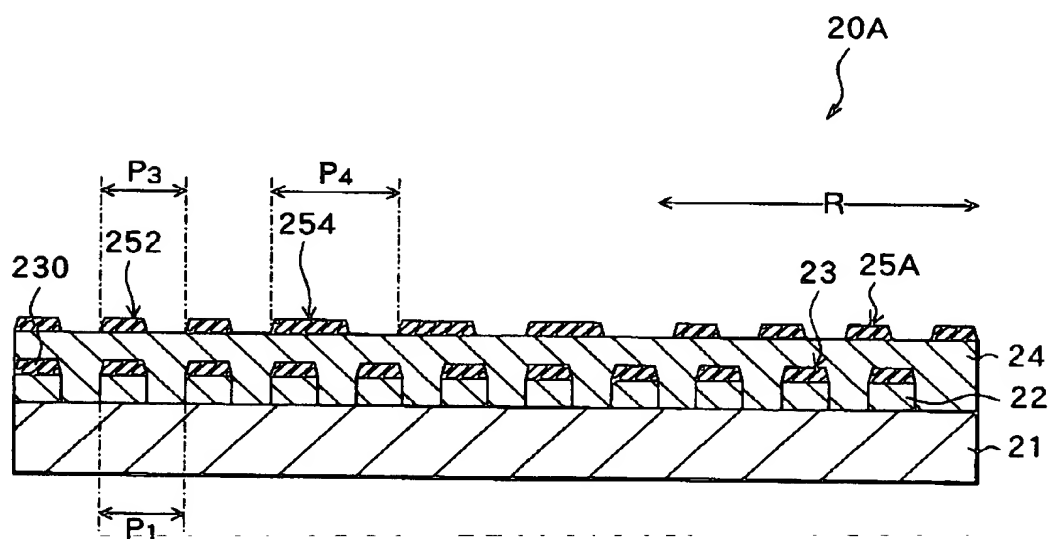
【図 7】



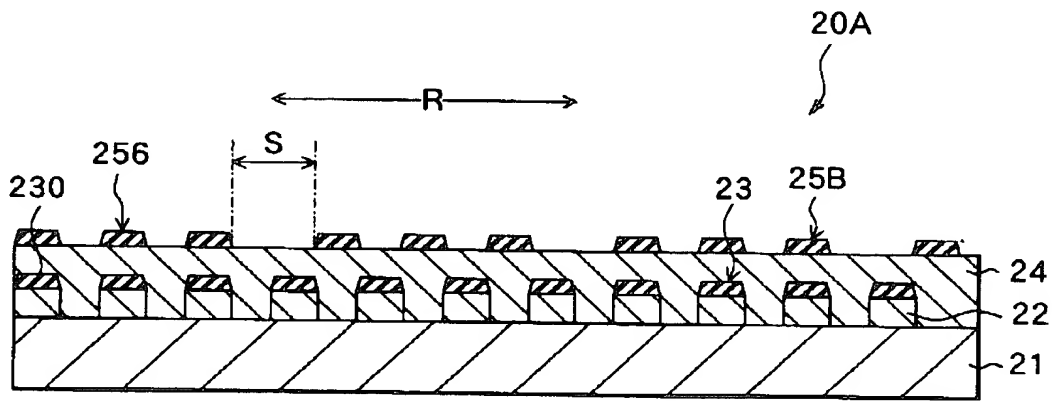
【図 8】



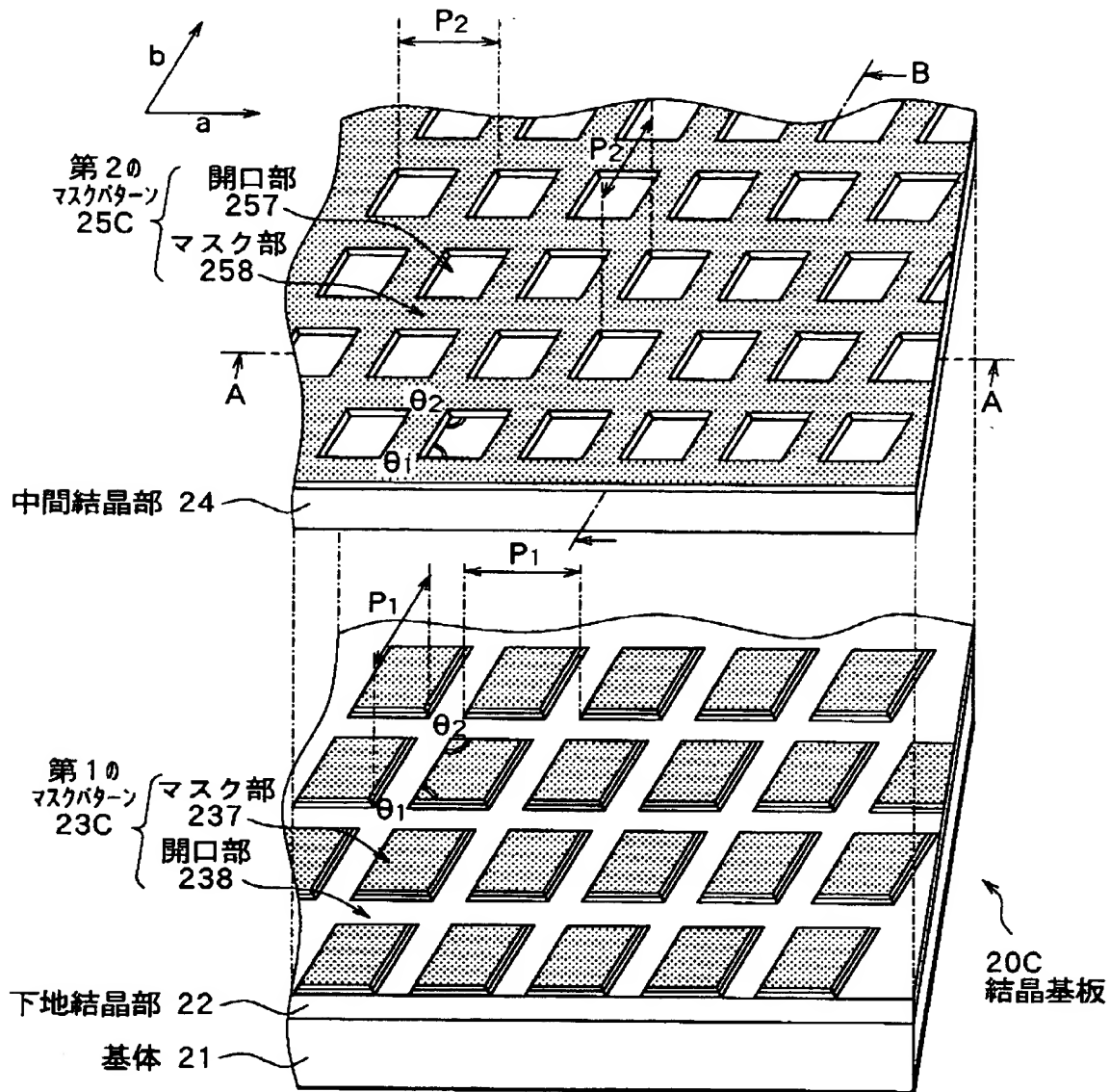
【図 9】



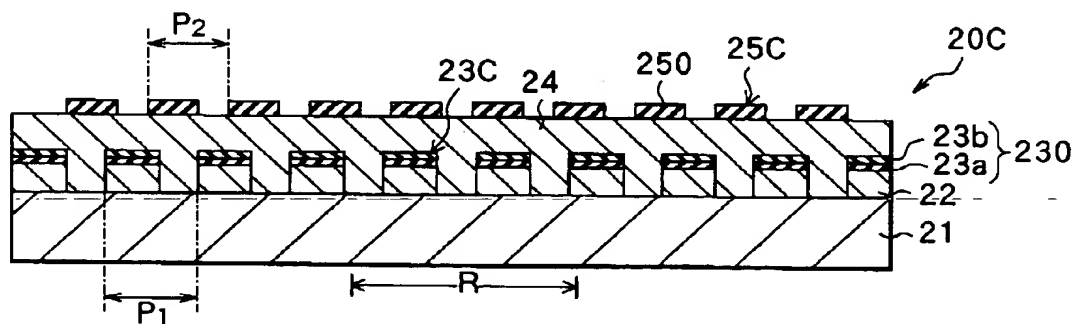
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 表面欠陥の無い窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物結晶基板および窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物結晶膜、それらを製造するための窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物の晶製造方法、ならびにそれらを用いたデバイスの製造方法を提供する。

【課題手段】 基体 1 1 の表面に窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物の結晶を成長させて下地結晶層 1 2 を形成し、下地結晶層 1 2 の表面に第 1 のマスクパターン 1 3 を形成する。この第 1 のマスクパターン 1 3 をマスクとして下地結晶層 1 2 をエッチングしたのち、窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物の結晶を成長させて中間結晶層 1 4 を形成する。続いて、中間結晶層 1 4 の表面に第 2 のマスクパターン 1 5 を形成し、この第 2 のマスクパターン 1 5 を介して中間結晶層 1 4 をエッチングしたのち、窒化物系ⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物の結晶を成長させて表面結晶層を形成する。中間結晶層 1 4 の結晶成長は下地結晶層 1 2 のエッチング溝 1 2 a の側面から開始されるため、中間結晶層 1 4 への転位の伝播が起こりにくい。また、第 1 のマスクパターン 1 3 上で新たな転位が発生しても、この転位は第 2 のマスクパターン 1 5 を介してのエッチングにより除去されるため、表面結晶層に伝播することはない。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 8 5]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 3 0 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号
氏 名	ソニー株式会社